

# AOBA-1.5 スパコン~~AOBA~~の運用開始と将来展望

**Supercomputing JAPAN! 2024**

2024年3月12日@タワーホール船堀

東北大学サイバーサイエンスセンター

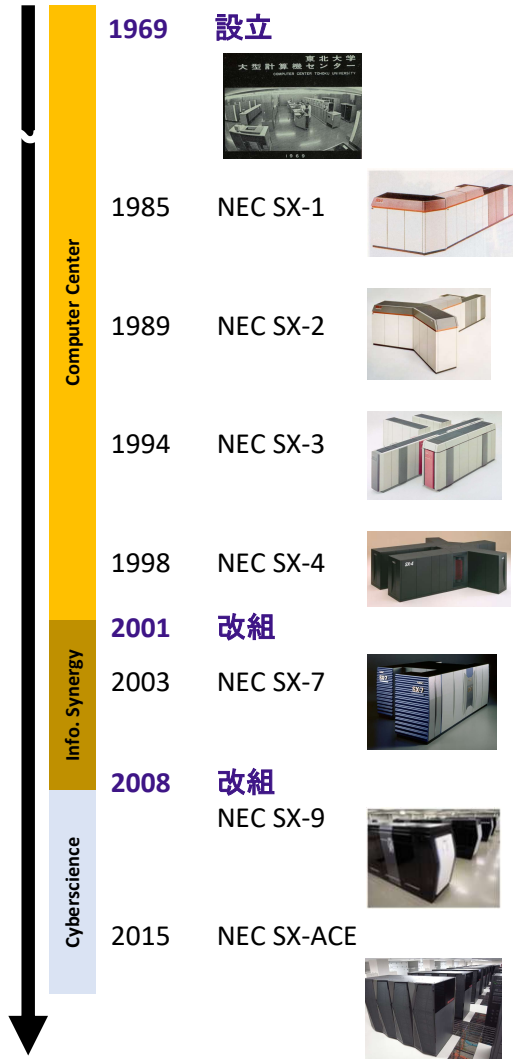
**滝沢 寛之**

# スパコンAOBAとは？





## ■ 沿革



## ■ 使命

- 学術利用のために**最先端の計算環境**を提供
  - **ベクトル型**のスーパーコンピュータ**AOBA**を運用
    - 利用登録者数 **1,592名** (2024年2月末時点)
- **利用者支援**
  - 性能測定, 性能解析, 高速化支援
  - 高性能計算に関するセミナーや講習会

2020年10月  
AOBA-1.0 稼働

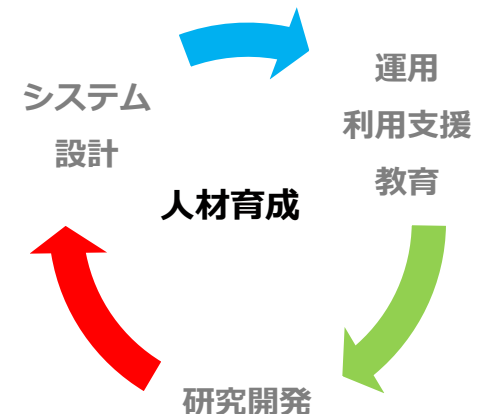
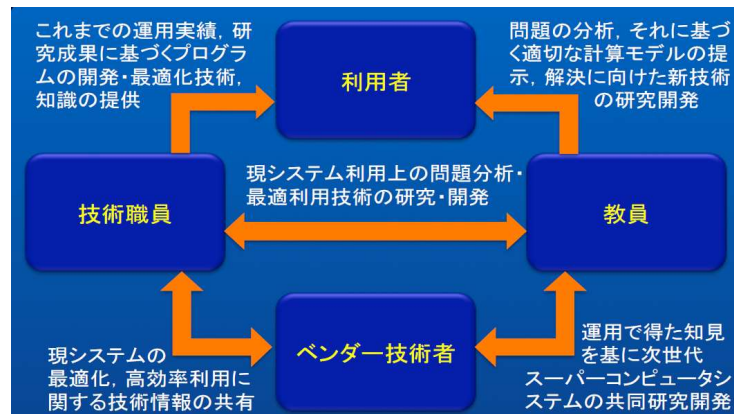


## 運用開始以降、常に高い利用率

「提供時間に対する利用時間の割合」は運用開始以降の平均で89.3%

## • 研究開発型の情報基盤センター

- 利用者や企業との共同研究
  - 高生産性かつ高性能な計算環境を実現するための次世代高性能計算システムやそのアプリケーションの創出





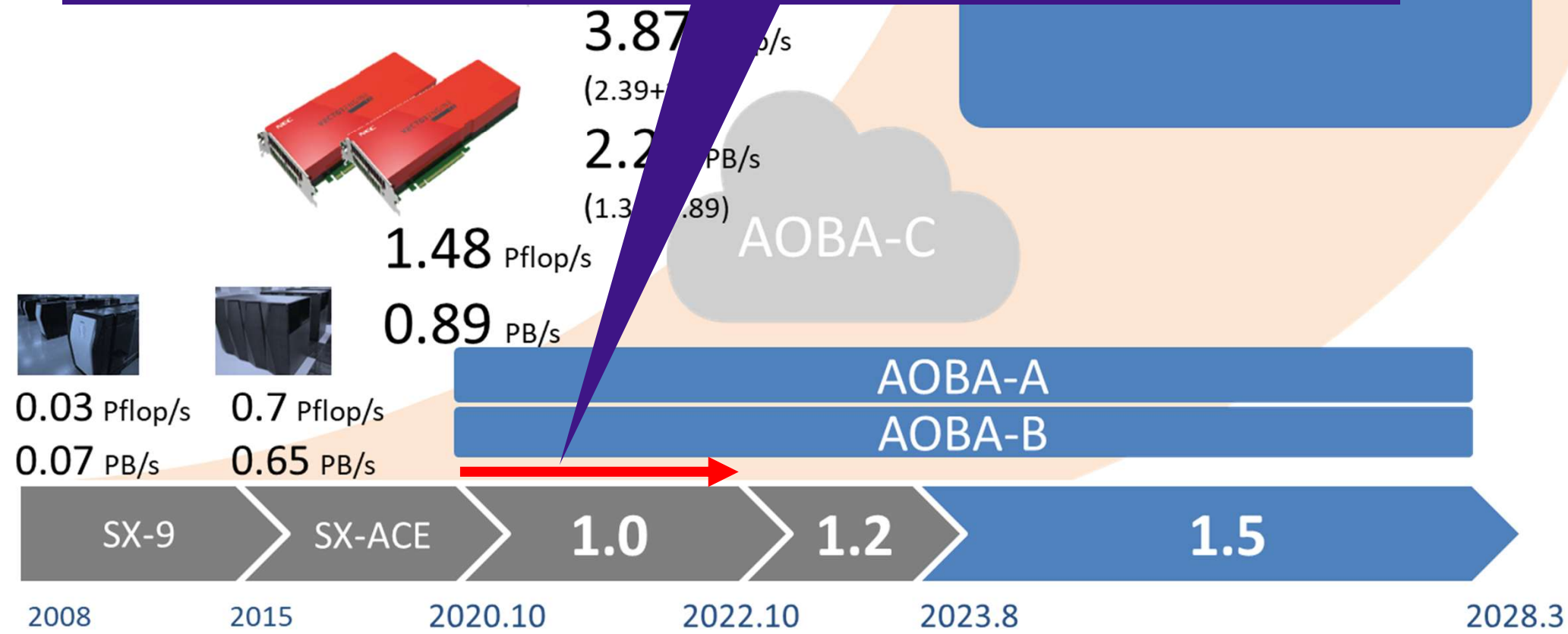


# スパコンAOBAの増強の歩み

**上段：演算性能 (Pflop/s)**  
 1 Pflop/s = 1秒間に1000兆回の演算実行  
**下段：メモリバンド幅 (PB/s)**  
 1 PB/s = 1秒間に1000兆バイトのデータ転送

**22.53** Pflop/s  
 (21.05+1.48)  
**10.86** PB/s  
 (9.97+0.89)

第1世代(AOBA-1.0)の運用開始直後から**利用率90%超え**  
**長く待たなければ使えない**状況が常態化





# スパコンAOBAの増強の歩み

**上段：演算性能 (Pflop/s)**  
 1 Pflop/s = 1秒間に1000兆回の演算実行  
**下段：メモリバンド幅 (PB/s)**  
 1 PB/s = 1秒間に1000兆バイトのデータ転送

22.53 Pflop/s

(21.05+1.48)

10.86 PB/s

(9.97+0.89)

## AOBA-S

演算性能 21.05 Pflop/s  
 メモリバンド幅 9.97 PB/s



3.87 Pflop/s

(2.39+1.48)

2.22 PB/s

(1.48+0.89)



1.48 Pflop/s

0.89 PB/s

## AOBA-C

**14倍**の性能向上

より大規模/高速/多様/高精度な  
 数値シミュレーションが可能に

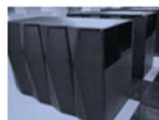
## AOBA-A

## AOBA-B



0.03 Pflop/s

0.07 PB/s



0.7 Pflop/s

0.65 PB/s

SX-9

SX-ACE

1.0

1.2

1.5

2008

2015

2020.10

2022.10

2023.8

2028.3



**上段：演算性能 (Pflop/s)**  
 1 Pflop/s = 1秒間に1000兆回の演算実行  
**下段：メモリバンド幅 (PB/s)**  
 1 PB/s = 1秒間に1000兆バイトのデータ転送

22.53 Pflop/s

(21.05+1.48)

10.86 PB/s

(9.97+0.89)



3.87 Pflop/s

**AOBA-S**

演算性能 21.05 Pflop/s  
 メモリバンド幅 9.97 PB/s

ベクトル型スパコンとしては **世界1位** の性能

## ベクトル型以外のスパコンも含む順位

演算性能は2023年11月時点で **世界50位 (国内4位)** (\*1)

メモリバンド幅は2023年11月時点で **世界10位 (国内2位)** (\*2)

\*1 : TOP500 <https://www.top500.org/lists/top500/2023/11/>

\*2 : HPCG <https://www.top500.org/lists/hpcg/2023/11/>




# 新スパコン AOBA-1.5 の構成

## 今回の増強された部分

NEC SX-Aurora TSUBASA C401-8 x 504

DDN ES400NVX2

**AOBA-S**




**21.05 Pflop/s**  
9.97 PB/s

**Storage**



4.5 PB  
(Lustre)

**Front-end servers**



Internet

InfiniBand NDR 200G


Ethernet 10G

InfiniBand HDR 200G

**Front-end servers**




**Storage**



2 PB (ScaTeFS)

**AOBA-A**



**1.48 Pflop/s**  
893 TB/s

**AOBA-B**



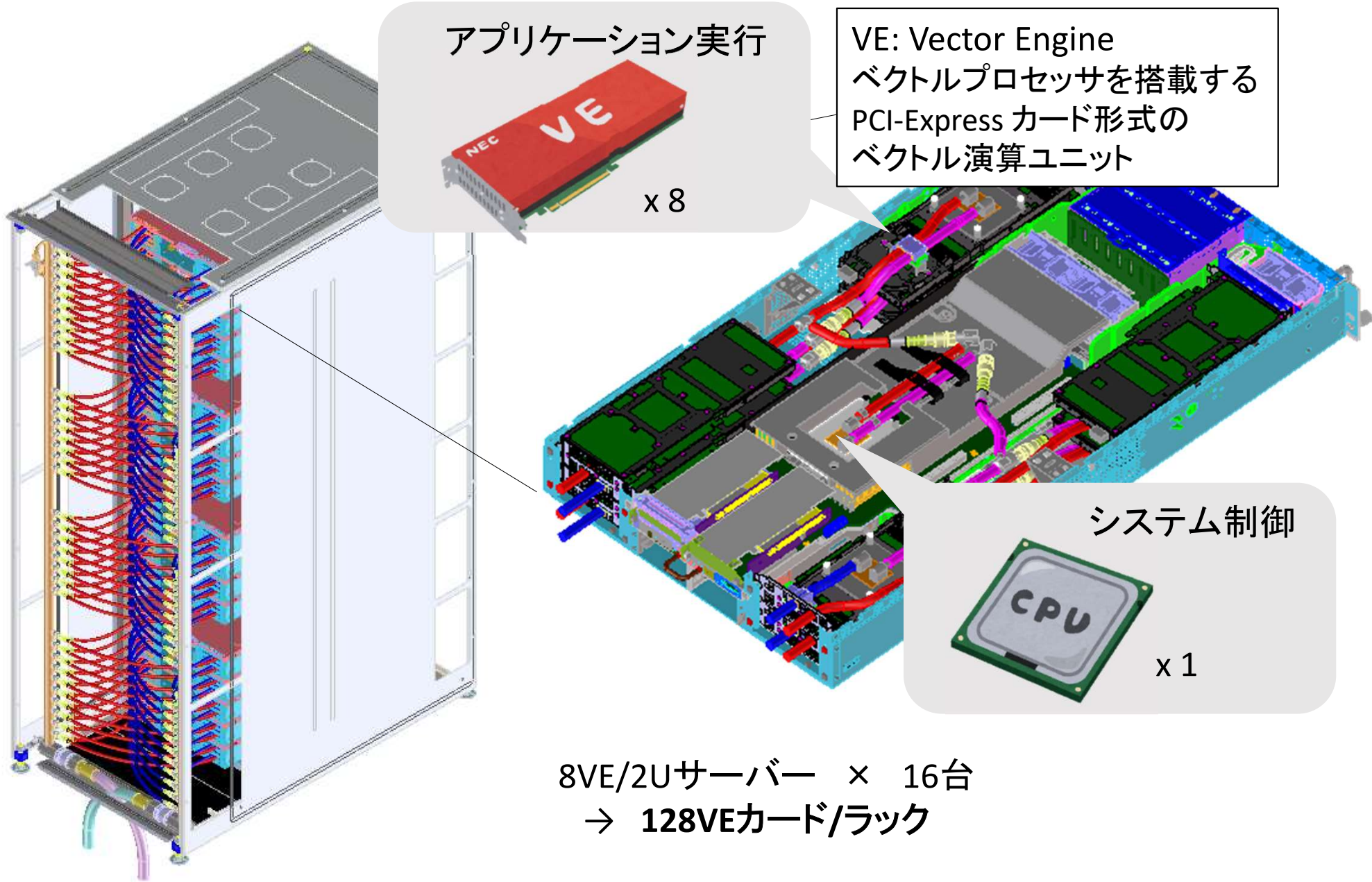
279 Tflop/s  
29 TB/s

DDN SFA7990XE

NEC SX-Aurora TSUBASA B401-8 x 72

NEC LX 406Rz-2 x 68





アプリケーション実行  
NEC VE  
x 8

VE: Vector Engine  
ベクトルプロセッサを搭載する  
PCI-Express カード形式の  
ベクトル演算ユニット

システム制御  
CPU  
x 1

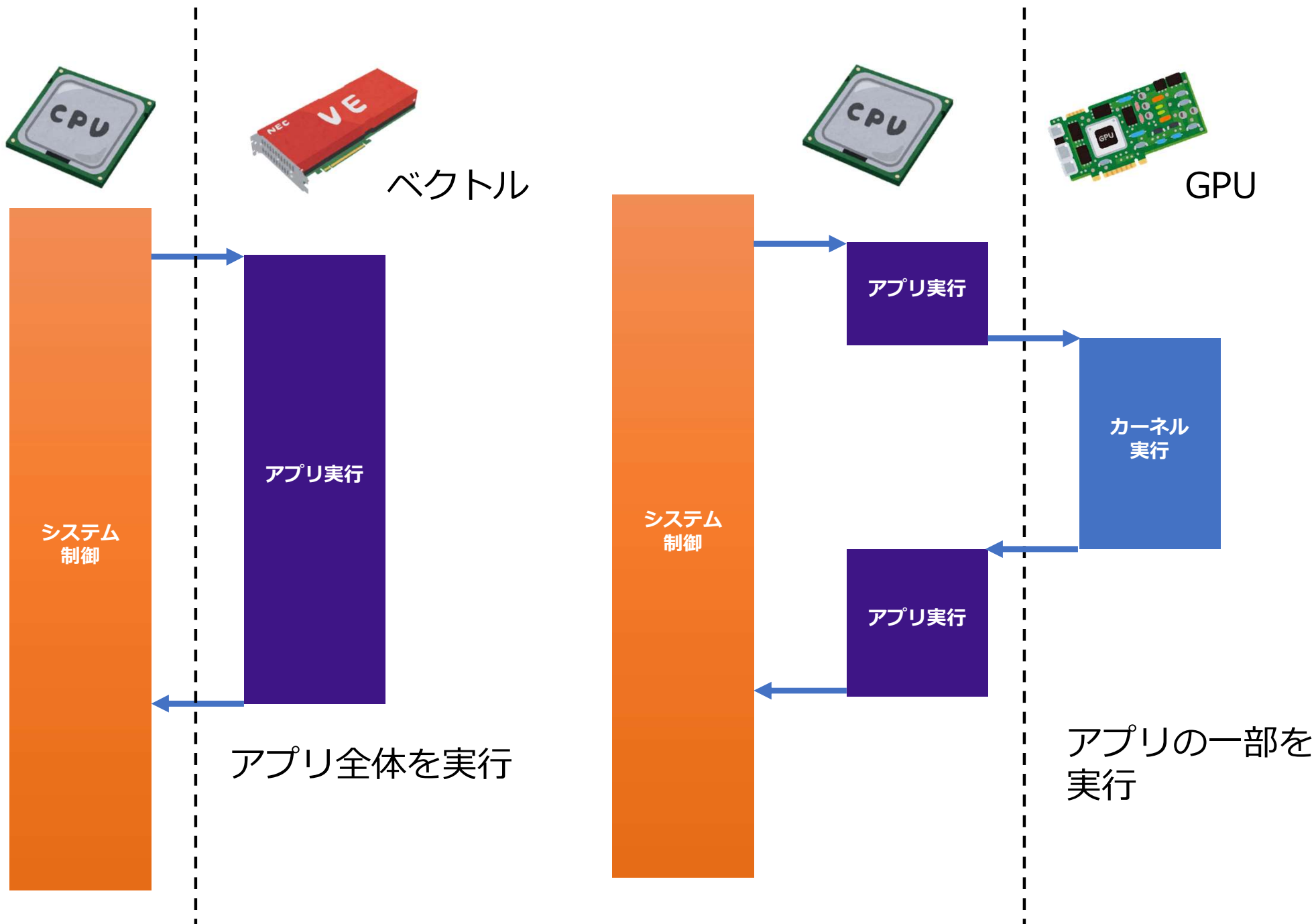
8VE/2Uサーバー × 16台  
→ 128VEカード/ラック

システム全体で4,032VE



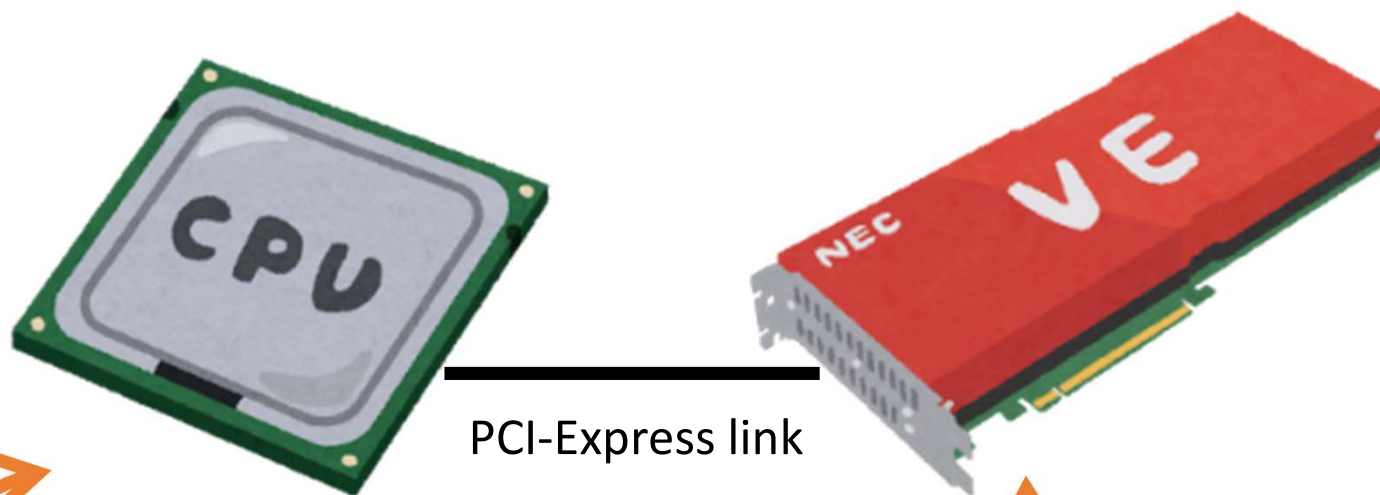


# VEとGPUの実行方式の違い





- ヘテロなハードウェア構成を意識せずに利用可能

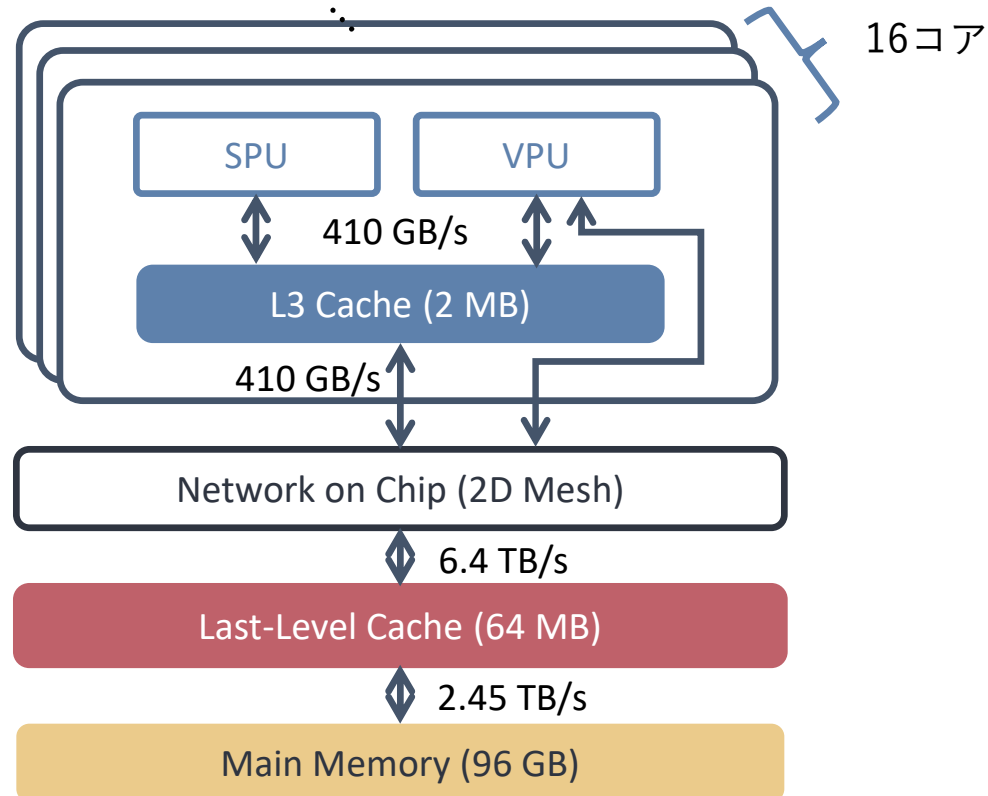
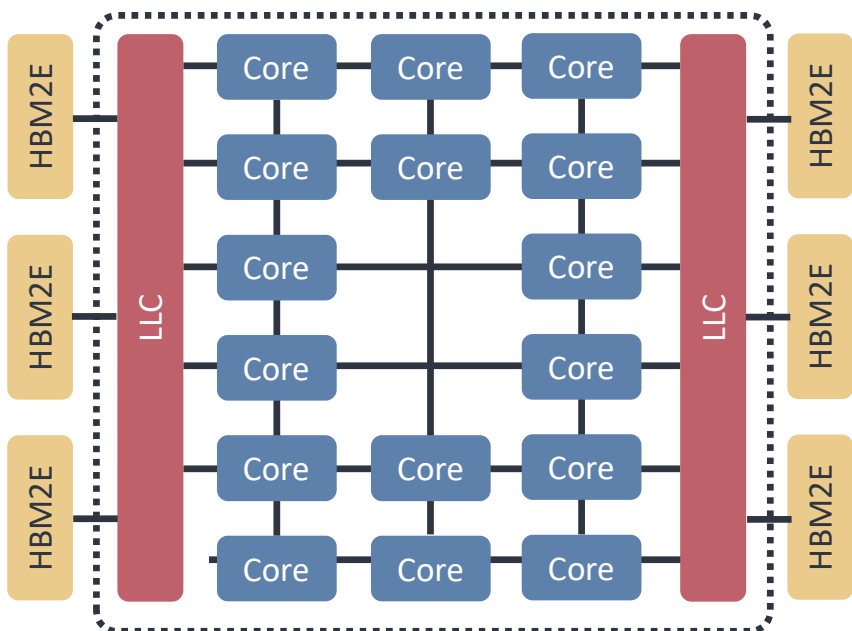


**Vector Host (VH)**  
= 標準的な x86 CPU

**Vector Engine (VE)**  
= 高いメモリバンド幅を持つベクトルプロセッサ

```
$ gcc matmul.c -o matmul  
$ ./matmul
```

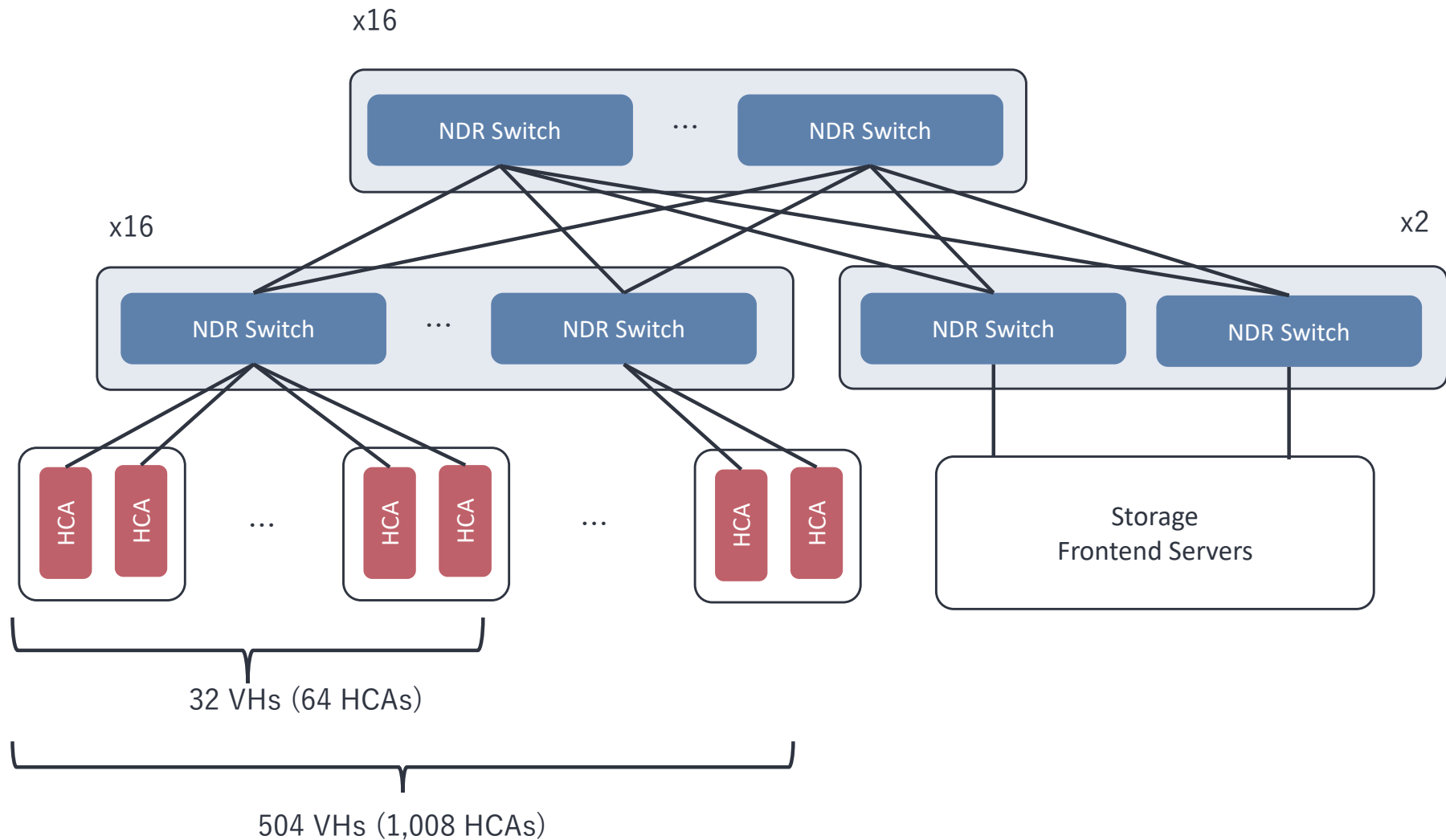
```
$ ncc matmul.c -o matmul  
$ ./matmul
```



	VE20A	VE30A
コア数	10	1.6x → 16
FP64演算性能 [TFLOP/s]	3.07	1.6x → 4.91
メモリ帯域幅 [TB/s]	1.53	1.6x → 2.45
メモリ容量 [GB]	48	2x → 96
LLC帯域幅 [TB/s]	3.0	2.1x → 6.4
LLC容量 [MB]	16	4x → 64

- **コア専用L3キャッシュ**
  - L3キャッシュはソフトウェア制御によってバイパスすることが可能
- **LLC内演算器**
  - 各LLCバンクが加算器を内蔵することでリスト総和演算をLLC内で実行可能
- **FP32演算性能の強化**
  - VE20ではFP32データが8バイトアラインされている必要があったが、4バイトアラインに緩和





- フルバイセクションかつノンブロッキングの2段Fat-treeトポロジによって計算ノード、ストレージ、各種サーバを接続
- 計4.4 PBのLustreストレージ

# 性能評価結果のご紹介

## 詳しくは以下の論文を参照

- [1] Takahashi et al., “Performance Evaluation of a Next-Generation SX-Aurora TSUBASA Vector Supercomputer,” ISC23.
- [2] 高橋ら, “ベクトル型スーパーコンピュータ「AOBA-S」の性能評価,” 第191回情処HPC研究会, 2023.



	既設(AOBA-A)	新設(AOBA-S)	富岳	汎用	GPU
	VE20B	VE30A	A64FX	Xeon 8368	A100-80 PCIe
Clock Freq. [GHz]	1.6	1.6	2.2	2.4	1.412
Core Peak Perf. [Gflop/s]	307 (DP) 612 (SP)	307 (DP) 612 (SP)	70 (DP) 140 (SP)	83.2 (DP) 166 (SP)	181 (DP) 181 (SP)
No. of Cores	8	16	48	38	108
Socket Peak Perf. [Tflop/s]	2.4 (DP) 4.9 (SP)	4.9 (DP) 9.8 (SP)	3.3 (DP) 6.7 (SP)	3.1 (DP) 6.3 (SP)	19.5 (DP) 19.5 (SP)
LLC Bandwidth [TB/s]	3.0	6.4	3.6	3.2	4.9
LLC Capacity [MB]	16	64	32	54	40
Mem Bandwidth [GB/s]	1536	2450	1024	204	1935
Memory Capacity [GB]	48	96	32	256	80

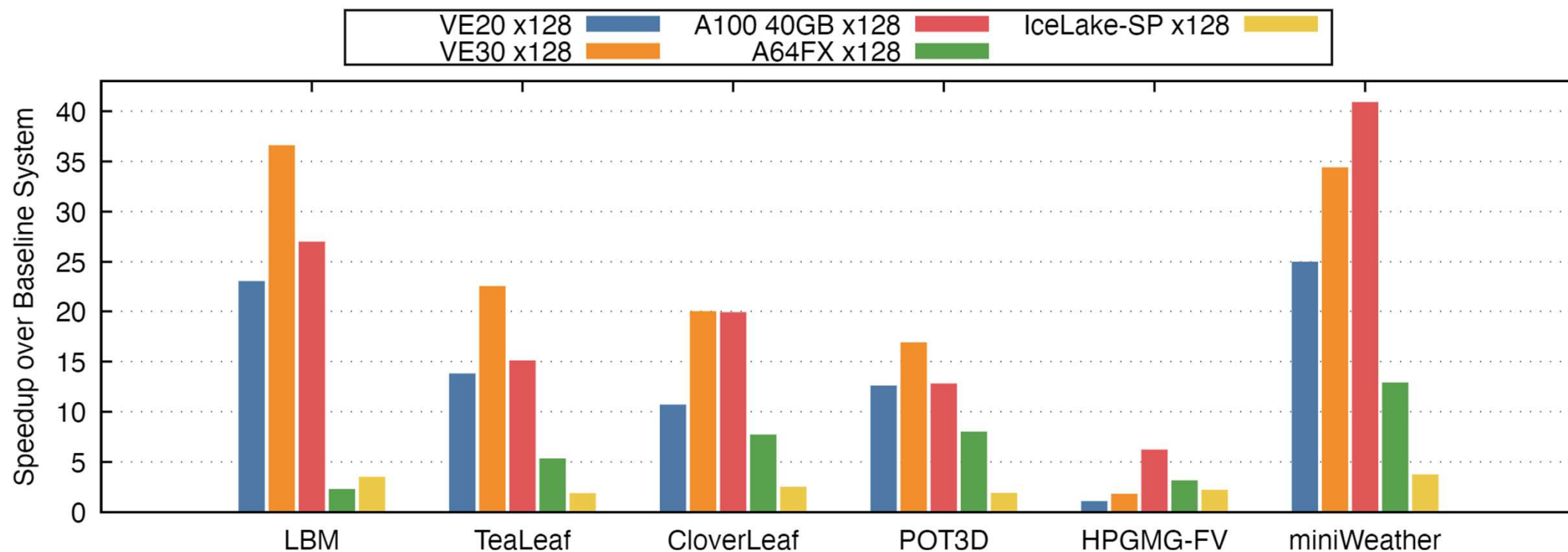
GPU並みのメモリバンド幅を持つプロセッサ

Takahashi et al., "Performance Evaluation of a Next-Generation SX-Aurora TSUBASA Vector Supercomputer," ISC23.





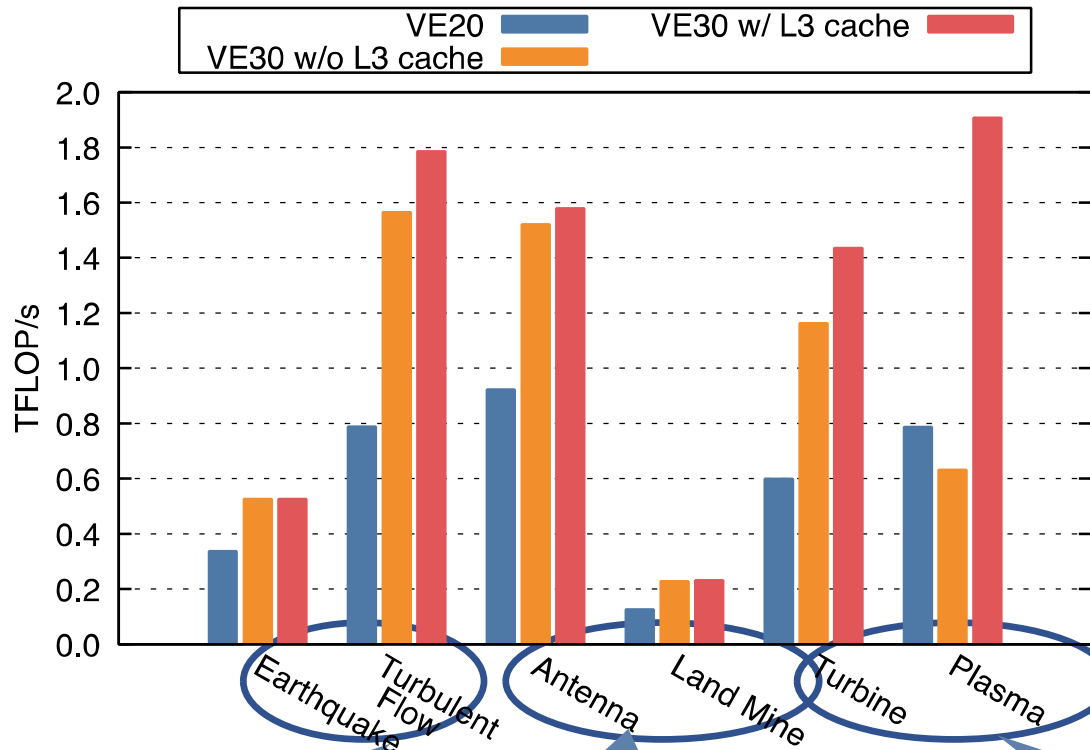
- 128ノード使用時の性能
  - **コード改変なし**での比較結果
  - VE30はメモリ律速のベンチマークにおいて高い実行性能





# 実アプリケーションによる性能評価

- カタログスペックの向上率 (VE20 vs VE30)
  - 演算性能で2倍、メモリバンド幅で1.6倍
- 実アプリケーションの向上率はそれ以上
  - メモリ階層の深化や新命令の追加による効果



	科学分野	律速要因	VE30/VE20
Earthquake	地震学	メモリ帯域幅	1.56x
Turbulent Flow	流体力学	LLC帯域幅	2.33x
Antenna	電波工学	メモリ帯域幅	1.77x
Land Mine	電波工学	メモリ帯域幅	1.92x
Turbine	流体力学	レイテンシ	2.40x
Plasma	プラズマ科学	レイテンシ	2.41x

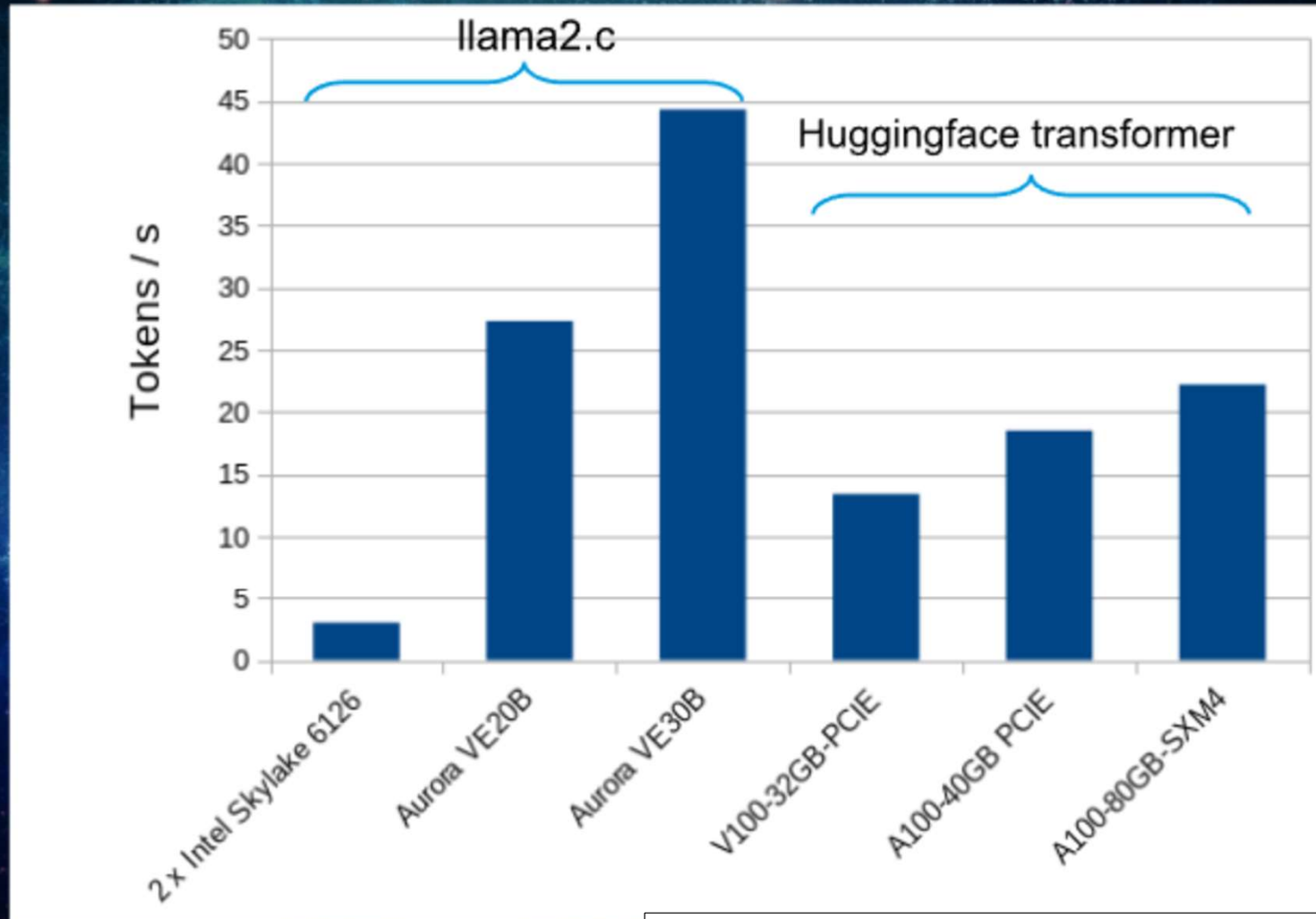
メモリ・LLC  
帯域幅の向上

L3CとLLC  
帯域幅の向上

L3Cによる  
レイテンシ短縮



## Llama-2-7b Text Generation



<https://sx-aurora.github.io/posts/Llama2-on-VE/>





### サブシステムAOBA-S (SX-Aurora TSUBASA)

利用形態	負担額および利用可能 VE 時間
共有 (無料)	利用 VE 数 1 (実行数, 実行時間の制限あり) 無料
共有 (従量)	課金対象時間 = (利用 VE 数 ÷ 8 を切り上げた数) × 経過時間 (秒) ← $\div$ ノード時間 課金対象時間の合計 1 時間につき 100 円 課金対象時間は半期毎 (4~9 月および 10~3 月) に合計し, 1 時間未満を切上げて負担金を請求する。
共有 (定額)	負担額 10 万円につき 課金対象時間の合計 1,000 時間
占有	利用 VE 数 8, 利用期間 3 ヶ月につき 216,000 円

### サブシステムAOBA-A (SX-Aurora TSUBASA)

利用形態	負担額および利用可能 VE 時間
共有 (無料)	利用 VE 数 1 (実行数, 実行時間の制限あり) 無料
共有 (従量)	課金対象時間 = (利用 VE 数 ÷ 8 を切り上げた数) × 経過時間 (秒) 課金対象時間の合計 1 時間につき 75 円 課金対象時間は半期毎 (4~9 月および 10~3 月) に合計し, 1 時間未満を切上げて負担金を請求する。
共有 (定額)	負担額 10 万円につき 課金対象時間の合計 1,400 時間
占有	利用 VE 数 8, 利用期間 3 ヶ月につき 162,000 円



### サブシステムAOBA-B (LX 406-Rz2)

利用形態	負担額および利用可能ノード時間
共有 (従量)	課金対象時間 = 利用ノード数 × 経過時間 (秒) 課金対象時間の合計 1 時間につき <b>22 円</b> 課金対象時間は半期毎 (4~9 月および 10~3 月) に合計し、1 時間未満を切上げて負担金を請求する。
共有 (定額)	負担額 <b>10 万円</b> につき 課金対象時間の合計 <b>4,600 時間</b>
占有	利用ノード数 <b>1</b> 、利用期間 <b>3ヶ月</b> につき <b>47,000円</b>

民間企業利用については成果公開型は**2倍**、成果非公開型は**4倍**の課金単価

アカウント登録は**無料**です！詳しくはウェブで！

**ご利用をお待ちしております！！！！**

# 最近の研究成果と今後の展望



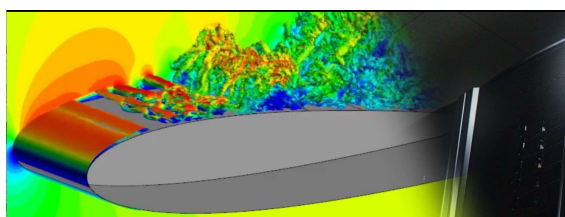




- AOBA Users' News 「AOBAの杜」



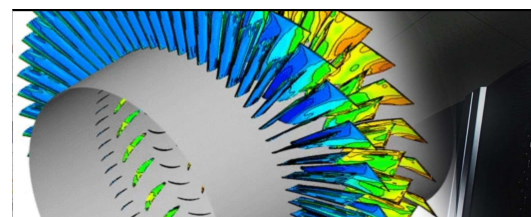
<https://www.cc.tohoku.ac.jp/usersnews/>



AOBA Users' News Vol.1

## スーパーコンピュータが創る「ものづくりイノベーション」

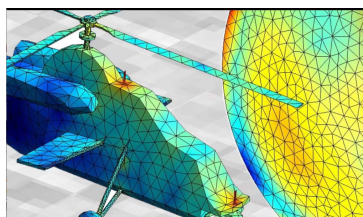
東京理科大学 工学部情報工学科 教授  
宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 名誉教授 藤井 孝蔵 工学博士



AOBA Users' News Vol.2

## マルチフィジックスCFDによる高性能、高信頼なものづくりの実現

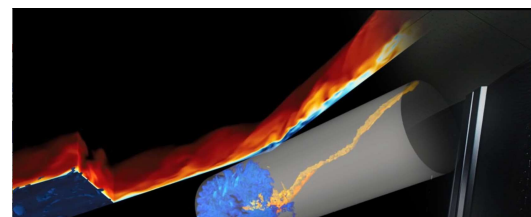
東北大学大学院情報科学研究科 教授  
東北大学工学部機械知能・航空工学科航空宇宙コース 兼任 山本 悟 工学博士



AOBA Users' News Vol.3

## スーパーコンピュータで切り拓く電磁波のフロンティア

東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻 陳・今野 研究室



AOBA Users' News Vol.4

## コンピュータシミュレーションによる圧縮性流体に関するアプローチ

慶應義塾大学 理工学部機械工学科 松尾 亜紀子 教授



## リアルタイム津波浸水被害推計システム

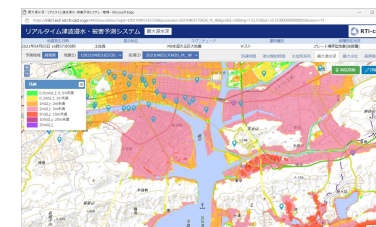
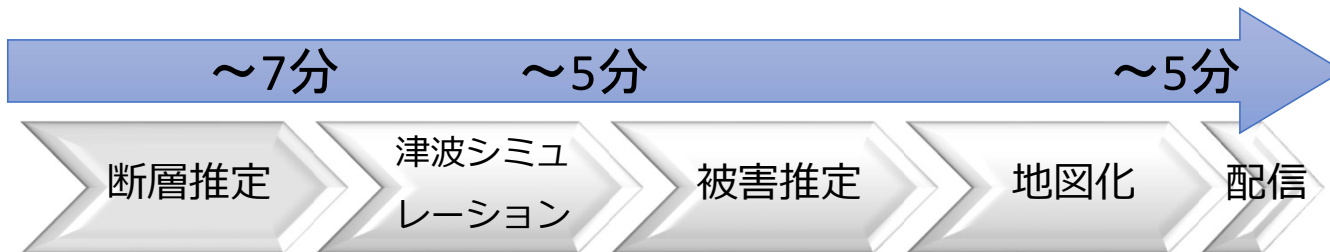
- 地震発生後20分以内に6時間後の浸水範囲、浸水被害等を推計  
政府・自治体等の災害初動対応の方針決めの検討情報として活用
- 内閣府、高知県、高知市、民間企業が利用中



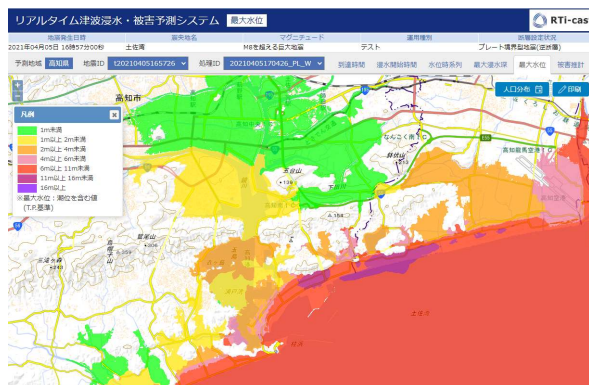
減災への思いから生まれた東北大学発ベンチャー企業

リアルタイム津波浸水・被害予測システムシステム等を用いた予測情報、計算結果を提供

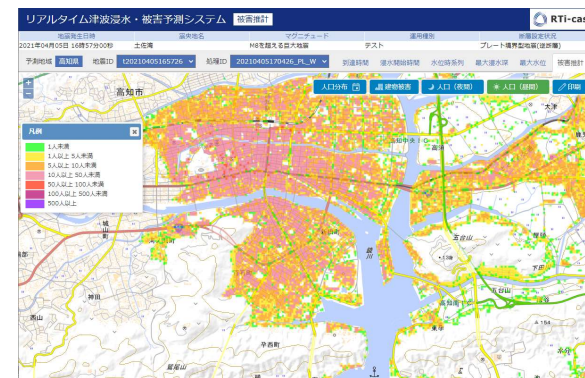
### AOBA で実運用



最大浸水深



最大水位

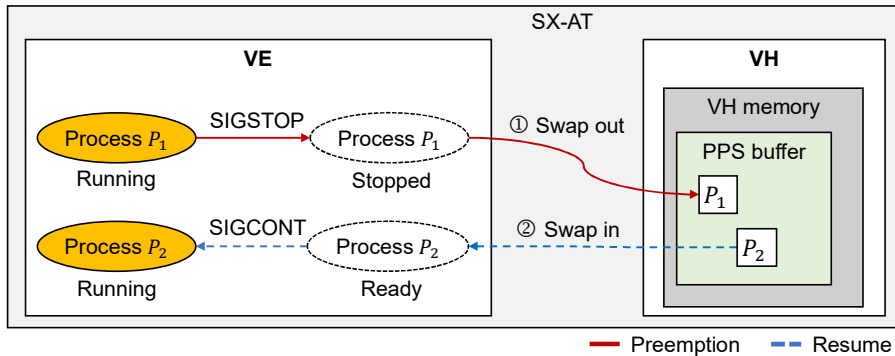


浸水域内人口

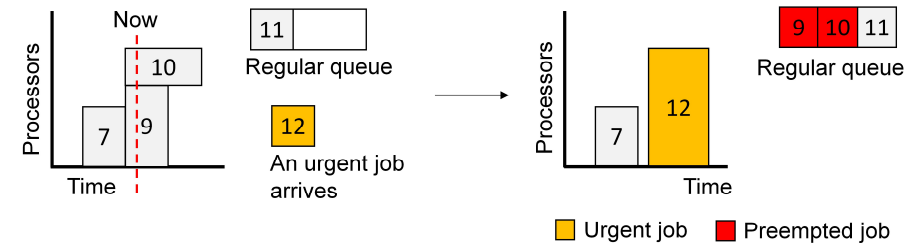


## 運用システムを緊急時にも活用する基盤技術

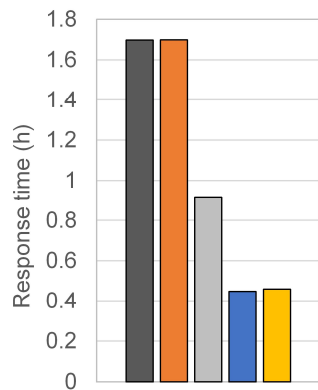
- ヘテロ構成スパコンでの緊急ジョブの割り込み実行



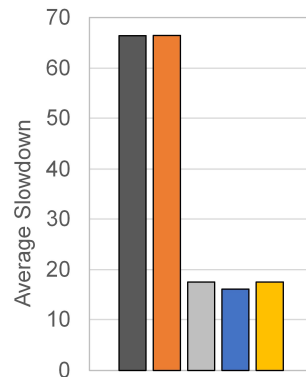
VE上のジョブをVHへ部分的に退避してから緊急ジョブを実行 (Partial Process Swapping)



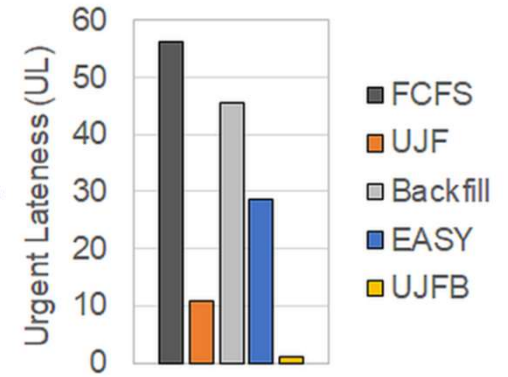
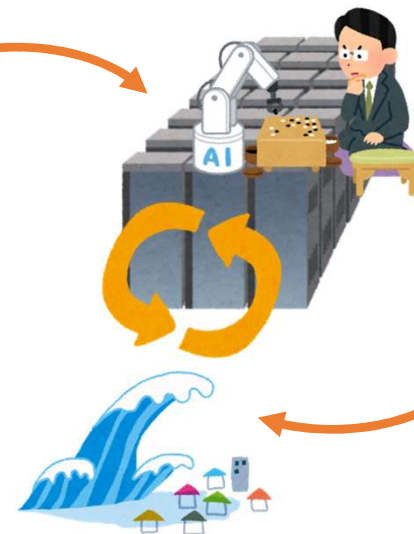
## 通常ジョブへの影響を抑えるジョブスケジューリング



通常ジョブの実行時間



通常ジョブの速度低下率



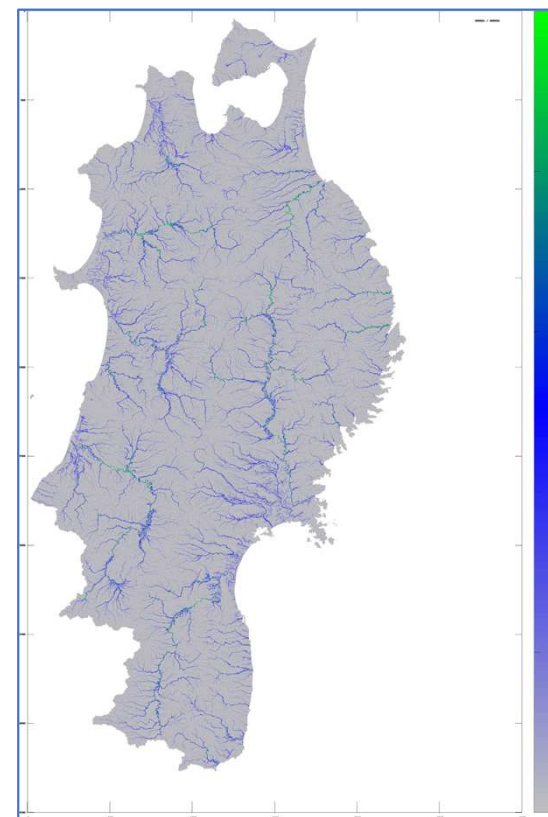
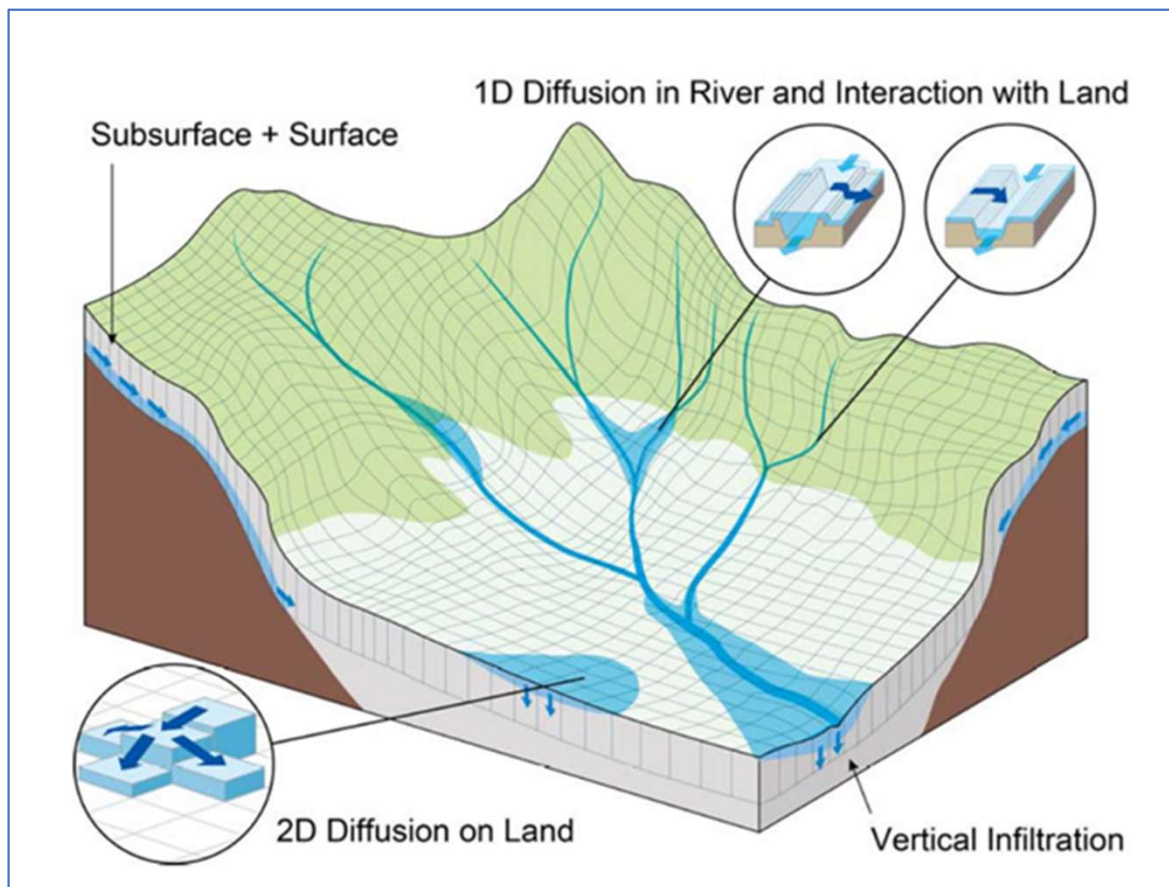
緊急ジョブの開始遅延





- 過去 1 時間の降雨データと6時間先までの予測降雨データを用いて現状と6時間先までを予測
  - 30分間隔で送られてくる降雨データに基づく**リアルタイム河川氾濫予測** (メ切時刻が定められたシミュレーション)

## 三井共同建設コンサルタント様との産学共同研究



RRIモデル概要 河川水位のイメージ図  
([https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index\\_j.html](https://www.pwri.go.jp/icharm/research/rri/index_j.html))



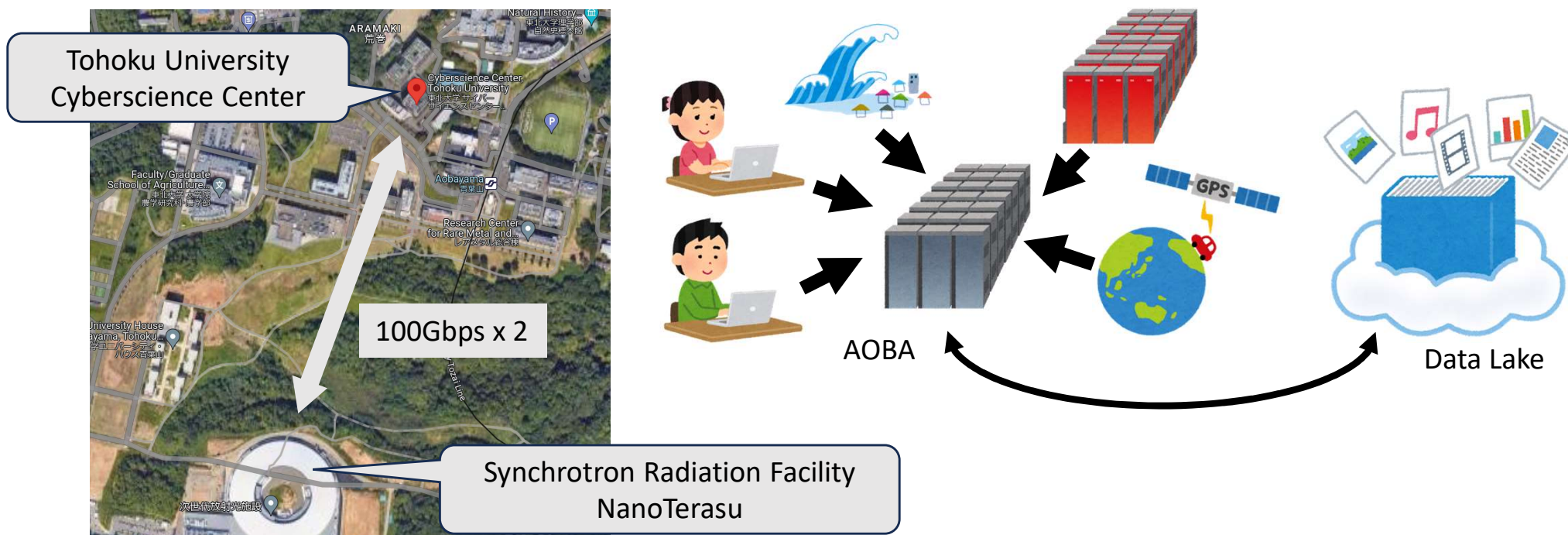


- 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) サブ課題  
「津波災害デジタルツインの構築とスマート・レジリエンスの実現」  
(研究開発責任者：越村俊一 教授)
- 津波におけるハザードとその社会影響を予測し、最適な災害対応をリアルタイムで提示





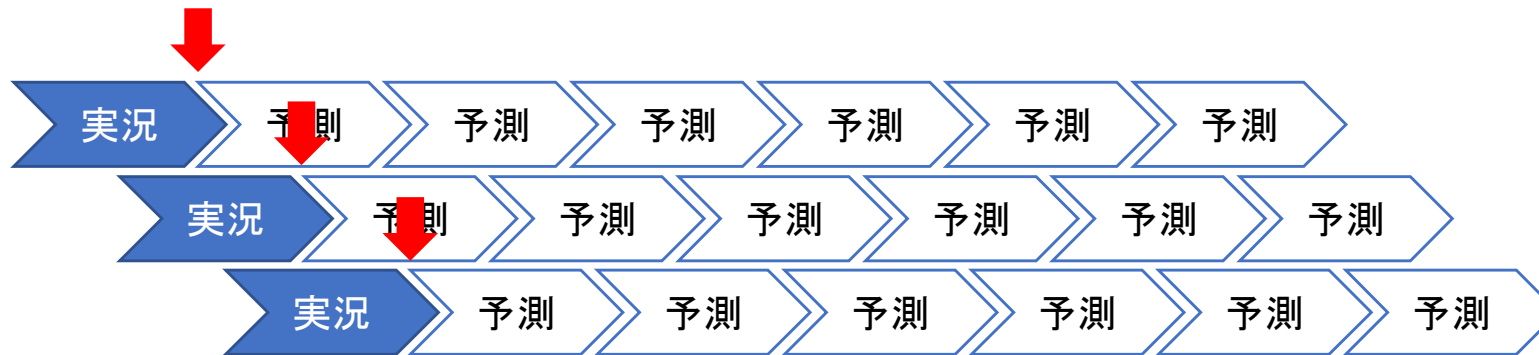
- 3GeV高輝度放射光施設 **NanoTerasu** の運用開始
    - 東北大学青葉山キャンパスのサイエンスパーク内に設置
- **スパコンAOBAへの期待**  
= 大規模データの受け皿 + 解析装置としての役割





- オンデマンド実行、センサーデータ処理など
  - リアルタイム河川氾濫予測シミュレーションの場合

降雨データ受信 → 過去1時間分の降雨データから、現状と6時間先までの予測

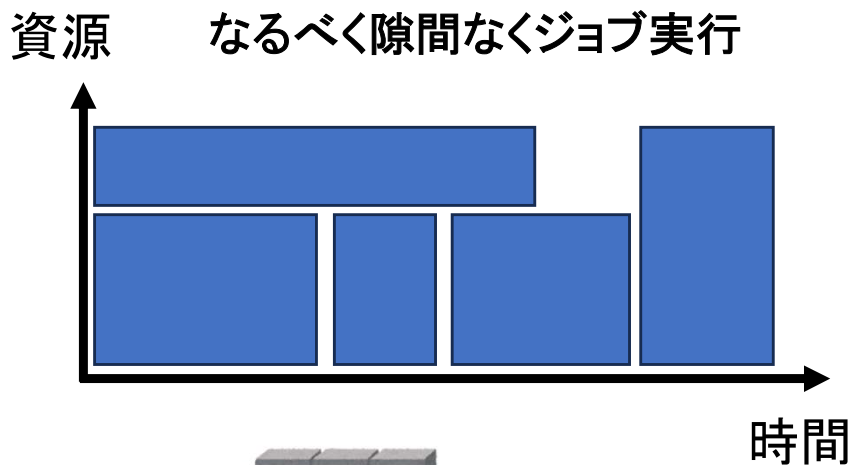


- 30分後に次のデータを受信 → シミュレーションを**30分以内**に完了する必要性
- **計算時間は降雨量に依存**して変化 → 大雨時に合わせて資源確保するのは無駄

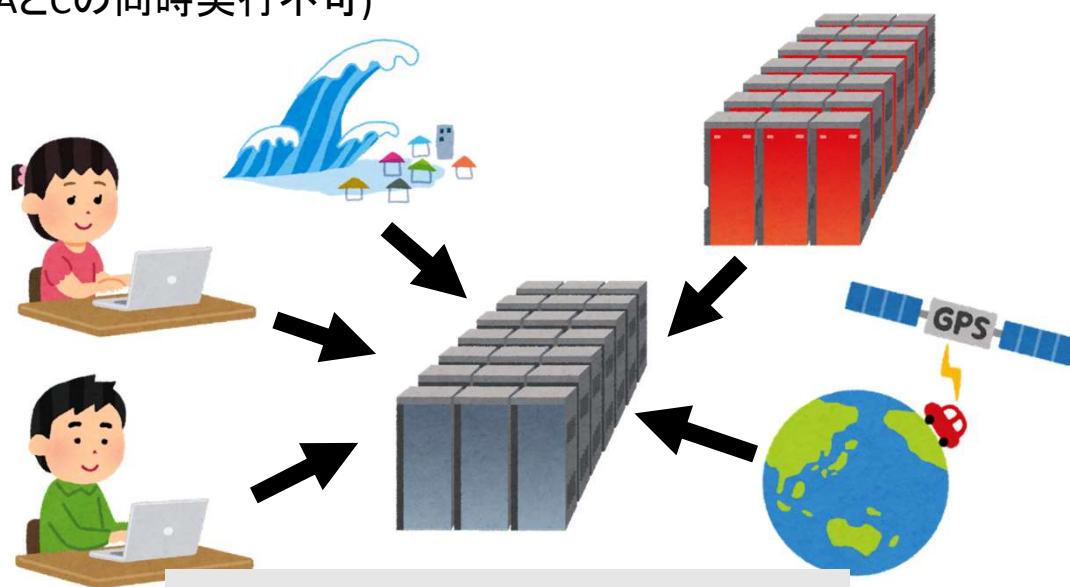
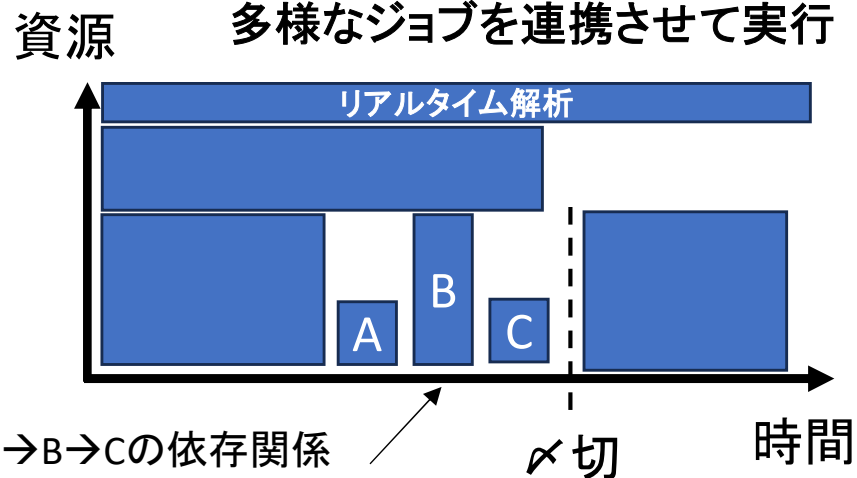




## 学術利用のみ



## 外部連携を伴う運用

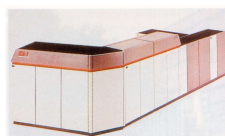




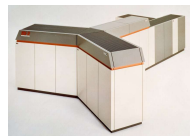
# ポスト「富岳」時代のスパコンセンターとして



1969 設立



1985 NEC SX-1



1989 NEC SX-2



1994 NEC SX-3



1998 NEC SX-4



2001 改組 NEC SX-7



2008 改組 NEC SX-9



2015 NEC SX-ACE

大型計算機センター

情報シナジーセンター

サイバーサイエンスセンター

北海道大学  
情報基盤センター

東北大学  
サイバーサイエンスセンター

名古屋大学  
情報基盤センター

京都大学  
学術情報メディアセンター

東京大学  
情報基盤センター

東京工業大学  
学術国際情報センター

大阪大学  
サイバーメディアセンター

九州大学  
情報基盤研究開発センター

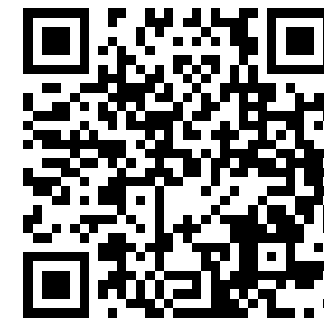
## ポスト「富岳」時代に目指すべき姿





## • 東北大学のスパコンAOBAを大幅増強 → **AOBA-1.5**

- ベクトル型スパコンとしては世界最大 (2023年11月)
  - TOP 500 List 50位 (国内4位)
  - HPCG 10位 (国内2位)
- 最新のベクトルプロセッサを搭載
  - NEC Vector Engine Type 30A
  - ヘテロな物理構成を意識することなく利用可能



詳しくはウェブで

→ **メモリ律速の数値シミュレーションで高性能を期待**

## • **ポスト富岳時代に向けた東北大学の取り組み**

- 科学技術の進展を支えるインフラ
  - 数値シミュレーションの代表例は「AOBAの杜」の動画参照
  - 大規模実験施設(NanoTerasu)との連携によるさらなる用途拡大
- 安心安全な社会を支えるインフラ
  - 津波災害デジタルツイン (東北大学 越村俊一教授)
  - リアルタイム河川氾濫予測 (三井共同建設コンサルタント株式会社)

→ **限られた計算資源を効率よく利用する運用技術の確立**